TU Bergakademie Freiberg

Praktikum-Meßtechnik

Verfasser: Dr. H. Bergelt

Filter in der Bildverarbeitung

1. Einleitung

Digitale Filter gehören zu den wirkungsvollsten Methoden der Bildverarbeitung. Wir können damit:

- relevante Bildinhalte hervorheben (z.B. Kanten mit Hochpaßfilter/Kantenoperatoren),
- Störungen beseitigen (z.B. Rauschen mit Tiefpaßfilter/Glättungsoperatoren) und
- die visuelle Beurteilung erleichtern (z.B. Beseitigung feiner Strukturen mit morphologischen. Operatoren)

2. Ziel und Aufgabenstellung

Dieser computergestützte Kurs gibt Ihnen auf interaktive Weise eine Einführung in die Methoden der Bildfilterung. Sie lernen dabei die folgenden Themenbereiche kennen:

- Grundbegriffe der Bildfilterung im Orts- und Ortsfrequenzraum
- Tiefpaßfilter und ihre Wirkung
- Hochpaßfilter und ihre Wirkung
- nichtlineare Filter und ihre Wirkung

Beispiele dafür sind:

- Extraktion einer Uferlinie mit einem Laplace-Filter,
- Elimination gestörter Bildpunkte mit einem Medianfilter,
- Glätten eines verrauschten Bildes mit Tiefpassfiltern.

2000 Dr. H. Bergelt

Sie können während der Kursbearbeitung und auch unabhängig davon mit dem mitgelieferten Bildverarbeitungssystem IMAGINE experimentieren und so weitere Erfahrungen mit der Anwendung von Filtern machen.

Um einen optimalen Nutzen von dem Kurs zu haben, sollten Sie die folgenden Vorkenntnisse besitzen:

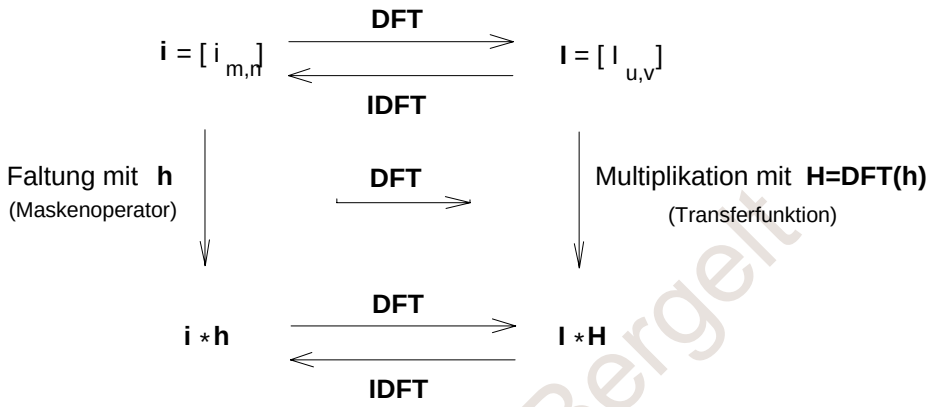
- Grundbegriffe digitaler Bilder (Pixel, Grauwert-/Farb-Bilder, Bildmatrix, ...)
- Grundkenntnisse der Differentialrechnung (Ableitungen, Differenzenquotienten, ...)
- Grundkenntnisse über Fourier-Transformationen (Ortsfrequenzraum, Fouriertransformation, Faltungssatz ...)

3. Übersicht zum Kursablauf

3.1 Grundlagen

Wir lernen zwei Techniken zur Filterung von Bildern kennen, nämlich
- Filterung durch *Faltung des Bildes* mit einem *Masken-Operator** im Ortsraum und
- Filterung durch *Multiplikation* der Fourier-Transformierten des Bildes mit einer *Transferfunktion* im Ortsfrequenzraum.

Den Zusammenhang zwischen beiden Methoden stellt der Faltungssatz her:



Dabei bedeuten DFT die diskrete Fourier-Transformation und IDFT die inverse DFT.
Ein Filter kann also auf zwei äquivalente Arten definiert werden:
- durch seinen Maskenoperator im Ortsraum,
- durch seine Transferfunktion im Ortsfrequenzraum.

2000, Dr. H. Bergelt

3.2 Tiefpaßfilter (Glättungsoperatoren)

Tiefpaßfilter schwächen die hochfrequenten Teile des Bildinhaltes, also feine Strukturen im Ortsraum ab. Typische Merkmale dieses Filtertyps sind:
- Der visuelle Eindruck des Bildes wird weicher.
- Grauwert-Kanten werden verwischt.
- Details und Rauschen werden abgeschwächt.
- In homogenen Bereichen haben sie keine Auswirkung.

Wegen dieser Effekte werden die Tiefpaßfilter auch Glättungsfilter genannt.

*... Ein Maskenoperator (z.B. Matrix aus 3x3 oder 5x5 Bildpunkten der Umgebung) berechnet für jedes Pixel im Quellbild einen anderen Pixelwert für ein neues Zielbild. Das Quellbild wird dabei nicht verändert.

Rechteckfilter
Ein einfacher Tiefpaß-Operator ist der Rechteckfilter (besitzt Kastenform im Ortsraum) mit der Maske:

$$\frac{1}{9}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix}$$

Er berechnet als neuen Pixelwert das arithmetische Mittel der Umgebungspixel. Rechteck-Filter sind keine idealen Tiefpaßfilter, denn

- Sie unterdrücken hochfrequente Anteile der Bildinformation nicht gleichmäßig gut (periodische Störungen werden je nach Periodendauer verschieden behandelt, weil die Transferfunktion im Ortsfrequenzraum eine gedämpfte Schwingung ist).
- In der Regel werden Störungen abgeschwächt, aber nie ganz beseitigt.
- Sie können sogar zusätzliche Störungen verursachen.

Gauß-Filter
Unter den kontinuierlichen Filtern besitzt die Gauß'sche Glocke im Gegensatz zum Rechteck-Filter eine geeignete Gestalt für eine homogene Behandlung aller Frequenzen. Ein zusätzlicher Vorteil ist, daß auch ihre Fourier-Transformierte eine Gauß-Glocke ist. Man verwendet daher oft diskrete Approximationen (Binomialverteilungen) der Gauß-Glocke als Filter, z.B. den Operator:

$$\frac{1}{16}\begin{bmatrix}1 & 2 & 1\\ 2 & 4 & 2\\ 1 & 2 & 1\end{bmatrix}$$

Der Gauß-Filter hat eine gleichmäßige Wirkung auf hochfrequente Bildanteile wie Kanten und isolierte Störungen. Diese Kanten und Störungen werden dabei weniger verwischt als beim Rechteckfilter.
Die charakteristischen Unterschiede beider Filter macht die Gestalt ihrer Transferfunktionen deutlich:

2000, Dr. H. Berger

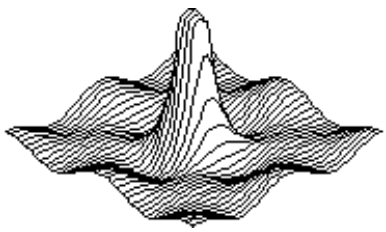


Bild 1:Transferfunktion eines Rechteckfilters

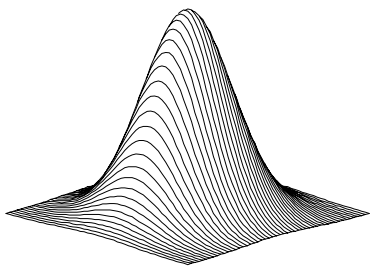


Bild 2:Transferfunktion eines Gaußfilters

3.3. Hochpaßfilter (Kantenoperatoren)

Hochpaßfilter werden eingesetzt, um feine Strukturen in Bildern zu verstärken. Typische Effekte der Hochpaßfilter sind:

- Der allgemeine Bildcharakter wird härter.
- Feine Bild-Details werden hervorgehoben,
- Grauwert-Übergänge (Kanten) werden verstärkt bzw. extrahiert.
- Homogene Bildbereiche werden gelöscht.

Geeignete Operatoren für die Hochpaß-Filterung ergibt die Überlegung, daß sich Kanten als Grauwert-Änderungen in der Ableitung der Bildfunktion $\mathbf{i} = [i_{m,n}]$ ausdrücken.

Richtungsabhängige Hochpaß-Filter: Sobel-Operatoren
Wir verwenden als Ansatz dazu die Approximation einer partiellen Ableitung in horizontaler Achsenrichtung durch Differenzen-Operationen:

$$\frac{\partial i[x,y]}{\partial x} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{i[x+\Delta x, y] - i[x-\Delta x, y]}{2\Delta x} \qquad \text{bzw.} \qquad h = \tfrac{1}{2}\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} .$$

Daraus ergeben sich die Sobel-Operatoren, die für Kanten unterschiedlicher Richtungen empfindlich sind:

horizontaler Sobel-Operator:

$$\mathbf{S}_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

vertikaler Sobel-Operator:

$$\mathbf{S}_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

diagonale Sobel-Operatoren:

$$\mathbf{S}_d = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{S}_d = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Generell heben richtungsabhängige Operatoren also diejenigen Strukturen hervor, die quer zu ihrer Arbeitsrichtung verlaufen, während alle anderen weniger stark detektiert werden.

Richtungsunabhängige Hochpaß-Filter: Laplace-Operator
Ein Ansatz für den Entwurf richtungsinvarianter Hochpaßfilter verwendet Ableitungsoperatoren zweiter Ordnung, z.B. den Laplace-Operator. Für kontinuierliche Funktionen ist der Laplace-Operator definiert durch:

$$\mathbf{L} = \frac{\partial^2 I[x,y]}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I[x,y]}{\partial y^2}$$

2000. Dr. H. Bergelt

Wir approximieren die partiellen Ableitungen durch Differenzengleichungen und erhalten so

$$\frac{d^2 I[x,y]}{dx^2} \approx \{\mathbf{I}[x+\Delta x,y] - 2\,\mathbf{I}[x,y] + \mathbf{I}[x-\Delta x,y]\}/\,\Delta x^2$$

und

$$\frac{d^2 I[x,y]}{dy^2} \approx \{\mathbf{I}[x,y+\Delta y] - 2\,\mathbf{I}[x,y] + \mathbf{I}[x,y-\Delta y]\}/\,\Delta y^2$$

Damit ergibt sich mit $\Delta x, \Delta y=1$ (bis auf das Vorzeichen) für den Laplace-Operator die Maske

$$\mathbf{L_1} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Es sind zahlreiche weitere Approximationen des Lapace-Operators möglich. Beispiele dafür sind die folgenden Masken (ihre Transferfunktionen haben die von den Gauß- und Binominalverteilungen her bekannte Form, s. Bild 2):

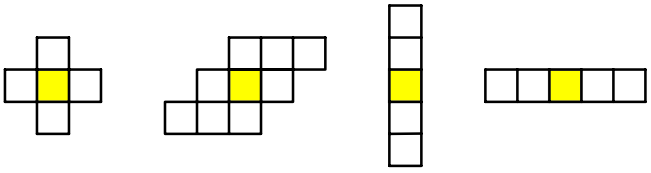
$$\mathbf{L_2} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{L_3} = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{L_4} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 12 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Diese Operatoren detektieren Grauwertkanten unabhängig von ihrer Richtung und löschen homogene Bereiche.

3.4 Nichtlineare Filter

Lineare Operatoren besitzen in manchen Fällen Nachteile: So unterdrückt ein linearer Glättungsoperator zwar das Rauschen, aber er verursacht gleichzeitig Unschärfe bei den Kanten. Man benutzt daher auch nichtlineare Filter, von denen die Rangordnungsoperatoren einen wichtigen Typ darstellen.

Rangordnungsoperatoren
Rangordnungsoperatoren ordnen zunächst die Nachbarpixel eines Bildpunktes in einer aufsteigenden Folge und ermitteln einen neuen Grauwert aufgrund einer Position in der Reihe.
Die folgenden Beispiele zeigen häufig anzutreffende, nicht-quadratische Umgebungsmasken für Rangordnungsoperatoren:



2000 Dr. H. Bergelt

Median-Filter

Ein typischer Rangordnungsoperator ist der Medianfilter: Es wird der Grauwert in der mittleren Position der geordneten Pixel-Folge ausgewählt. Eigenschaften des Median-Filters sind:

- isolierte Störungen werden ohne Nebeneffekte eliminiert (weil Störungen am Anfang oder dem Ende in der Umgebungsmaske stehen und nicht ausgewählt werden)
- Kanten und lineare Grauwertverläufe bleiben unverändert

Der Medianfilter ist daher besser als lineare Glättungsfilter dazu geeignet, Pixelstörungen zu eliminieren (Glättung ohne Verwischung der Kanten).

Morphologische Operatoren

Morphologische Operatoren nutzen Informationen über die Gestalt von Objekten aus. Sie können sowohl auf Binärbilder als auch auf Graustufenbilder angewandt werden. Zu den morphologischen Operatoren gehören:

- **Dilatations-Operator**
  Er wählt den maximalen Wert aus der geordneten Folge der Umgebungspixel aus. Dadurch dehnen sich die hellen Gebiete auf Kosten der dunklen aus.
- **Erosions-Operator**
  Er wählt den kleinsten Wert aus der geordneten Folge der Umgebungspixel aus. Damit dehnen sich die dunklen Gebiete auf Kosten der hellen Bereiche aus (helle Ränder werden wegerodiert).
- **Opening**
  Dabei handelt es sich um eine Erosions-Operation mit nachfolgender Dilatation. Ausgefranste Objektränder werden dabei "glattgehobelt" und kleine Strukturen, z.B. Pixelstörungen oder dünne Linien werden ganz unterdrückt.
- **Closing**
  Beim Closing werden zunächst eine Dilatation und danach eine Erosionsoperation ausgeführt. Dabei werden kleine Lücken in Objekträndern geschlossen.

4. Fragen zum Kurs

- Welche Nachteile hat der Rechteckfilter im Vergleich zum Gaußfilter
- Erklären Sie die Begriffsbezeichnungen „Tiefpassfilter“ und „Hochpassfilter“
- Welche Wirkungen haben Sobel-, Laplace- und Median- Operatoren.

5. Literatur

1. Jähne B.: Digitale Bildverarbeitung. Springer- Verlag 1989
2. Bässmann H.; Besslich Ph.W.: Bildverarbeitung-Ad Oculus. Springer- Verlag 1991

weiterführende Buchempfehlungen:

1. Haberäcker P.: Digitale Bildverarbeitung. Hanser-Studienbuch. ISBN 3-446-14442-0
2. Wahl F.M.: Digitale Bildsignalverarbeitung. Springer. ISBN 3-540-13586-3
3. Rafael C. u.a.: Digital Image Processing. Addison- Wesley Publishing Group. ISBN 0-201-11026-1
4. Ahlers R.- J. u.a.: Industrielle Bildverarbeitung. Addison-Wesley Publ. Group. ISBN 3-89319-154-2
5. Breuckmann B.: Bildverarbeitung und opt. Meßt. in der industr. Praxis. Franzis. ISBN 3-7723-4861-0
6. Abmayr W.: Einführung in die digitale Bildverarbeitung. B.G. Teubner. ISBN 3-519-06138-4

2000, Dr. H. Bergolt